

Requested Patent: JP2003199273A

Title:

PERMANENT MAGNET SYSTEM RELUCTANCE TYPE ROTATING ELECTRIC  
MACHINE ;

Abstracted Patent: JP2003199273 ;

Publication Date: 2003-07-11 ;

Inventor(s):

SAKAI KAZUTO; SHIN MASANORI; TOKUMASU TADASHI; TAKAHASHI NORIO ;

Applicant(s): TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO ;

Application Number: JP20010398045 20011227 ;

Priority Number(s): JP20010398045 20011227 ;

IPC Classification: H02K1/27; H02K1/22; H02K19/10; H02K21/14 ;

Equivalents: ;

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a permanent magnet system of reluctance type rotating electric machine which is small in size, high in output, and high in efficiency, and is capable of variable speed operation in a wide range. SOLUTION: The machine is provided with cavities 6 of the same number as of poles on the outside periphery side of a rotor iron core 2, and the section between the cavities 10 serves as a magnetic pole 10, and the machine is so provided with main permanent magnets 3 as to catch the magnetic pole 10, and provided with a permanent magnet 4 for compensation in a section close to the periphery of the magnetic pole 10, and both the main permanent magnet 3 and the permanent magnet 4 for compensation are magnetized in the direction of offsetting the magnetic fluxes (q-axis magnetic fluxes) generated by currents which are distributed, with the section high in magnetic resistance as the center axis. COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-199273

(P2003-199273A)

(43)公開日 平成15年7月11日 (2003.7.11)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup> H02K 1/27	識別記号 501	F I H02K 1/27	テ-マ-ト(参考) 501K 5H002 501A 5H619 501M 5H621 A 5H622 A
1/22 19/10		1/22 19/10	

審査請求 未請求 請求項の数13 OL (全10頁) 最終頁に続く

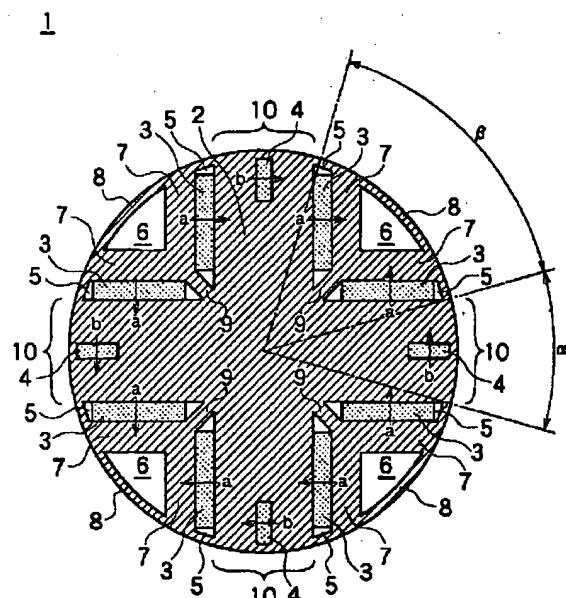
(21)出願番号 特願2001-398045(P2001-398045)	(71)出願人 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22)出願日 平成13年12月27日(2001.12.27)	(72)発明者 堺 和人 神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝京浜事業所内
	(72)発明者 新 政憲 神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝京浜事業所内
	(74)代理人 100083806 弁理士 三好 秀和 (外7名)
	最終頁に続く

(54)【発明の名称】 永久磁石式リラクタンス型回転電機

(57)【要約】

【課題】 小型・高出力・高効率で広範囲の可変速運転が可能な永久磁石式リラクタンス型回転電機を提供する。

【解決手段】 回転子鉄心2の外周側に極数と同じ数の空洞部6を設け、空洞部6の間が磁極10となり、この磁極10を挟むように主永久磁石3を設け、磁極10の外周に近い部分に補償用永久磁石4を設け、主永久磁石3と補償用永久磁石4をともに、磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流によって生じる磁束( $q$ 軸磁束)を相殺する方向に磁化している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電機子コイルを持つ固定子と、周方向に周期的に磁気抵抗の高い部分と低い部分が形成されている回転子と、前記回転子に設けられ、前記磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流によって生じる磁束を相殺する方向に磁化されている永久磁石と、を有することを特徴とする永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項2】 前記回転子は、前記磁気抵抗の高い部分を形成するために、前記回転子を構成する鉄心内に空洞部を有することを特徴とする請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項3】 前記回転子は、前記磁気抵抗の高い部分を形成するために、前記回転子を構成する鉄心の外周面に凹形状を有することを特徴とする請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項4】 前記回転子の前記磁気抵抗の高い部分と低い部分は、前記永久磁石のみによって形成されることを特徴とする請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項5】 前記永久磁石は、前記磁気抵抗の高い部分を挟むように設けられた第1の永久磁石と、前記磁気抵抗の低い部分に設けられた第2の永久磁石であることとを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項6】 前記第2の永久磁石は、前記第1の永久磁石より保磁力の高い永久磁石であることを特徴とする請求項5記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項7】 前記回転子は、前記第2の永久磁石の内周側端部から中心方向に空洞を有することを特徴とする請求項5または6記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項8】 前記回転子は、前記第2の永久磁石の内側に、磁極中心軸に沿って、前記回転子の周方向と直交する方向に積層された電磁鋼板を有することを特徴とする請求項5または6記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項9】 前記回転子は、磁極の中心軸に沿って、前記回転子の周方向と直交する方向に積層された電磁鋼板を有することを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項10】 前記回転子は、磁極の中心軸に沿って導電性の板を有することを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項11】 前記永久磁石は、磁極を挟んで設けられた長さの異なる永久磁石であることを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項12】 前記磁気抵抗の低い部分は、周方向の幅が磁極ピッチの0.25～0.40倍であることを特徴とする請求項1～11のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

【請求項13】 最大トルク状態または一定出力で基底速度以上の運転をする状態では、前記磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流によって生じる磁束と前記永久磁石による磁束が相殺されて零となる状態で動作させることを特徴とする請求項1～12のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、永久磁石式リラクタンス型回転電機に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来のリラクタンス型回転電機は、回転子に界磁を形成するコイルが不要であり、たとえば図10に示すように、回転子101が凹凸のある回転子鉄心103のみで構成されている。このためリラクタンス型回転電機は、図示したように回転子101部分にコイルがない分構成で簡素であり、かつ安価であるといった特徴を有する。

【0003】 このようなリラクタンス型回転電機は、回転子101に凹凸があることにより、磁極となる凸部105で磁気抵抗が低くなり、凹部107では磁気抵抗が高くなる。したがって、凸部105と凹部107上の空隙部分で固定子111の電機子コイル113に電流を流すことにより蓄えられる随伴磁気エネルギーが異なることになり、この随伴磁気エネルギーの変化により出力が発生する。

【0004】 また、リラクタンス型回転電機の回転子101に設ける凸部105と凹部107は、幾何的に凹凸の形状とするばかりではなく、磁気的に凹凸となつていればよい。これは、たとえば回転子101内において、磁気抵抗、磁束密度分布などが回転子の位置により異なるようにすれば、外形的な形状は円形であつてもよいのである。

【0005】 このようなリラクタンス型回転電機に他に、同様に回転子にコイルを持たない回転電機に永久磁石回転電機がある。

【0006】 永久磁石回転電機は、回転子のほぼ全周にわたり永久磁石が回転子鉄心の表面に配置された表面型永久磁石回転電機と、回転子鉄心内に永久磁石が埋めこまれた埋め込み型永久磁石回転電機がある。なお、固定子は、リラクタンス型回転電機と同様である。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 上述した従来の回転電機において、前者のリラクタンス型回転電機は、上述したように、回転子鉄心表面の凹凸（または磁気的な凹凸）により回転子の位置で磁気抵抗が異なるようにして

空隙磁束密度を変化させ、これにより磁気エネルギーを変化させて出力を得ている。

【0008】しかしながら、電流が増加することに伴い磁極となる鉄心の凸部105（d軸方向）において局部的に磁気飽和が拡大する現象があり、これにより、磁極間となる鉄心の凹部107（q軸方向）に漏れる電流による磁束が増加して、有効な磁束が減少し、回転電機の出力が低下するといった問題があった。

【0009】またこれは磁気エネルギーから考えると、回転子鉄心103の凸部105の磁気飽和で生じる漏れ磁束により、空隙磁束密度の変化が緩やかになり、随伴磁気エネルギー変化が少なくなってしまい、電流に対して回転電機の出力の増加率が低下し、やがて出力が飽和することになる。

【0010】さらに、q軸の漏れ磁束は、無効な電圧を誘起して回転電機の力率を低下させるといった問題もある。

【0011】一方、後者の永久磁石回転電機においては、可変速運転において問題が生じる。

【0012】永久磁石の磁束は一定であるので電機子コイルに誘導される電圧は回転速度に比例して大きくなる。したがって、低速から高速までの広範囲の可変速運転を行う場合、表面型永久磁石回転電機では界磁磁束を減らすことができないため、電源電圧を一定とすると基底速度の2倍以上の定出力運転が困難であるといった問題がある。

【0013】また、埋め込み型永久磁石回転電機では、永久磁石の鎖交磁束が表面型永久磁石回転電機よりも少なくなる。そこで、永久磁石の磁化方向と逆の減磁界を形成する電機子反作用を永久磁石に作用させて、鎖交磁束を減少する方法が採用されている。

【0014】しかし、これは大きな減磁界を発生させるための電流をコイルに流すので、電流によりジュール損が発生してシステムの効率が低下するといった問題がある。また、空転時においては、永久磁石の磁束を減少させるための電流をコイルに流すため、出力を発生していない状態でも大きなジュール損が発生して総合運転効率が低下するといった問題もある。

【0015】本発明は、上記従来の技術的課題に鑑みてなされたもので、その目的としては、小型・高出力・高効率で広範囲の可変速運転が可能であり、中・高速回転領域でも鉄損が少なく、効率の良い永久磁石式リラクタンス型回転電機を提供することである。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明は、上記課題を解決するために、電機子コイルを持つ固定子と、周方向に周期的に磁気抵抗の高い部分と低い部分が形成されている回転子と、前記回転子に設けられ、前記磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流によって生じる磁束を相殺する方向に磁化されている永久磁石

と、有することを要旨とする永久磁石式リラクタンス型回転電機である。

【0017】この発明は、回転子に磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流で生じる磁束（q軸磁束）を相殺する方向に磁化された永久磁石を設けることで、このq軸磁束を相殺して、q軸磁束を減少させようとするものである。

【0018】請求項2記載の発明は、請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子は、前記磁気抵抗の高い部分を形成するために、前記回転子を構成する鉄心内に空洞部を有することを要旨とする。

【0019】この発明は、回転子鉄心内に設けた空洞部により磁気障壁を作り、この磁気障壁によって空洞部の無い部分に対して磁気抵抗が高くなる部分を形成し、これにより回転子の周方向に磁気抵抗の高い部分と低い部分を周期的に形成しようとするものである。

【0020】請求項3記載の発明は、請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子は、前記磁気抵抗の高い部分を形成するために、前記回転子を構成する鉄心の外周面に凹形状を有することを要旨とする。

【0021】この発明は、回転子鉄心の外周面に設けた凹形状により磁気障壁を作り、この磁気障壁によって凹形状の無い部分に対して磁気抵抗が高くなる部分を形成し、これにより回転子の周方向に磁気抵抗の高い部分と低い部分を周期的に形成しようとするものである。

【0022】請求項4記載の発明は、請求項1記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子の前記磁気抵抗の高い部分と低い部分は、前記永久磁石のみによって形成されることを要旨とする。

【0023】この発明は、回転子に設けられている磁気抵抗の高い部分と低い部分を回転子内に設けた永久磁石のみによって形成することで、回転子内の空洞や回転子表面の凹形状を無くし、永久磁石の磁束を増加させるようにして永久磁石と電流の相互作用によりトルクを大きくしようとするものである。

【0024】請求項5記載の発明は、請求項1～4のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石は、前記磁気抵抗の高い部分を挟むように設けられた第1の永久磁石と、前記磁気抵抗の低い部分に設けられた第2の永久磁石であることを要旨とする。

【0025】この発明は、回転子に磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流で生じる磁束（q軸磁束）を相殺する方向に磁化された永久磁石として、第1の永久磁石と第2の永久磁石の二つの永久磁石を設けることで、q軸磁束をよりいっそう減少しようとするものである。

【0026】請求項6記載の発明は、請求項5記載の永

久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記第2の永久磁石は、前記第1の永久磁石より保磁力の高い永久磁石であることを要旨とする。

【0027】この発明は、第2の永久磁石に第1の永久磁石より高い保磁力の永久磁石を用いることで、磁気抵抗の低い部分に設ける磁石を薄くできるようにし、磁気抵抗の低い部分、すなわち磁極となる部分の磁路断面積を十分に確保できるようにして、磁極部分における磁気抵抗の低下を抑えようとするものである。

【0028】請求項7記載の発明は、請求項5または6記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子は、前記第2の永久磁石の内周側端部から中心方向に空洞を有することを要旨とする。

【0029】この発明は、第2の永久磁石の内周側端部から中心方向に空洞を設けることで、この空洞によって回転子鉄心の内部を横切るq軸電流による磁束を遮断するとともに、第2の永久磁石の漏れ磁束を低減させて第2の永久磁石によるq軸磁束を相殺する効力を強め、よりいっそうq軸磁束を減少しようとするものである。

【0030】請求項8記載の発明は、請求項5または6記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子は、前記第2の永久磁石の内側に、磁極中心軸に沿って、前記回転子の周方向と直交する方向に積層された電磁鋼板を有することを要旨とする。

【0031】この発明は、第2の永久磁石の内側に磁極中心軸に沿って、回転子の周方向と直交する方向に積層された電磁鋼板を配置することで、電磁鋼板によって回転子周方向の磁気抵抗を大きくして、この電磁鋼板を横切って回転子周方向に分布するq軸磁束を低減させることで、第2の永久磁石によるq軸磁束を相殺する効力に加えて、よりいっそうq軸磁束を減少しようとするものである。

【0032】請求項9記載の発明は、請求項1～4のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子は、磁極の中心軸に沿って、前記回転子の周方向と直交する方向に積層された電磁鋼板を有することを要旨とする。

【0033】この発明は、磁極中心軸(d軸)に沿って積層した電磁鋼板を配置し、しかもこの電磁鋼板を回転子周方向と直交する方向に積層したものとすることで、電磁鋼板内によって回転子周方向の磁気抵抗を大きくし、この電磁鋼板を横切って回転子周方向に分布するq軸電流の磁束を低減しようとするものである。

【0034】請求項10記載の発明は、請求項1～4のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記回転子は、磁極の中心軸に沿って導電性の板を有する要旨とする。

【0035】この発明は、磁極中心軸(d軸)に沿って導電材の板を配置することで、この導電性の板に渦電流を生じさせ、生じた渦電流により、q軸電流の高調波磁

束を低減しようとするものである。

【0036】請求項11記載の発明は、請求項1～4のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記永久磁石は、磁極を挟んで設けられた長さの異なる永久磁石であることを要旨とする。

【0037】この発明は、磁極を挟んで長さの異なる永久磁石を用いることで、磁極部分の鉄心表面上のエアギャップにこの長さの異なる永久磁石による磁束を生じさせ、この永久磁石の磁束がq軸電流の磁束を相殺する方向に磁化されていることをを利用して、q軸電流の磁束を相殺しようとするものである。

【0038】請求項12記載の発明は、請求項1～11のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、前記磁気抵抗の低い部分は、周方向の幅が磁極ピッチの0.25～0.40倍であることを要旨とする。

【0039】この発明は、磁気抵抗の低い部分の周方向幅を磁極ピッチの0.25～0.40倍とすることで、d軸インダクタンスとq軸インダクタンスのインダクタンス比をより大きくしようとするものである。

【0040】請求項13記載の発明は、請求項1～12のいずれか一つに記載の永久磁石式リラクタンス型回転電機において、最大トルク状態または一定出力で基底速度以上の運転をする状態では、前記磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流によって生じる磁束と前記永久磁石による磁束が相殺されて零となる状態で動作させることを要旨とする。

【0041】この発明は、磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流によって生じる磁束(q軸磁束)が零となるように運転することで、最大トルク時と基底速度以上の中・高速回転において最も効率よく運転できるようしようとするものである。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【0043】(第1の実施の形態)図1は、本発明を適用した第1の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【0044】回転子1は、電磁鋼板を積層した回転子鉄心2で構成されており、その外周側に極数と同じ数の空洞部6が設けられている。隣り合う空洞部6の間には鉄の磁性部が存在し、この隣り合う空洞部6の間の磁性部が磁極10となる。なお、空洞部6は鉄心によって取り囲まれており、各部位を、磁極10側で磁路が形成されている側を磁路ブリッジ7、空洞部6の外周側を外周ブリッジ8、空洞部6の内周側を内周ブリッジ9と称している。

【0045】本第1の実施の形態においては、極数を4極としているため回転子1の主な磁極10となる磁性部は、図1に示すように十字状になる。

【0046】回転子鉄心2には、磁極10に沿った方向に磁石を挿入するための主磁石挿入用空洞5が8個設けられ、この主磁石挿入用空洞5に主永久磁石3が挿入される。したがって、この主永久磁石3は、空洞部6によって磁気抵抗が高くなる部分を挟むように配置されている。

【0047】そしてこの主永久磁石3は、主磁石挿入用空洞5の厚み方向に磁化されている。図1中の矢印aはこの磁化の方向を示す。

【0048】また、回転子鉄心2には、磁極10内、すなわち磁気抵抗の低い部分の外周に近い部分にさらに空洞を設けて補償用永久磁石4を設けている。この補償用永久磁石4の磁化方向は4極では回転子1の半径方向と直交する方向としている。図1中の矢印bはこの磁化の方向を示す。

【0049】なお、図示しない固定子は、一般的な誘導機、同期機などの回転電機と同じ構成であり、従来例として示した図10を参考すれば、固定子111は、電磁鋼板を積層した固定子鉄心115と、この固定子鉄心1

$$T = k (L_d \cdot I_d + L_q \cdot I_q - L_d \cdot I_q - L_q \cdot I_d) \quad \dots (1)$$

ただし、(1)式中、 $L_d$ はd軸インダクタンス、 $L_q$ はq軸インダクタンスである。

【0056】トルク式は、主永久磁石3がq軸の電機子

$$T = k \{ L_d \cdot I_d + L_q \cdot I_q - (L_d + L_q) I_d \} \quad \dots (2)$$

ただし、(2)式中、 $\psi_{pm}$ は永久磁石の鎖交磁束である。

【0058】永久磁石の磁束 $\psi_{pm}$ は、上記(2)式における第2項の負のトルクを減少できるので、回転電機のトルクは増加する。また、 $L_d I_d + L_q I_q - \psi_{pm} = 0$ になるようにq軸の総磁束量は総和で調整される。

【0059】しかし、q軸鎖交磁束の総和が零であっても、図2に示すように、磁極10の外周部を横切るq軸電流による磁束が存在する。そして、このq軸電流による一部の磁束も鉄損を発生する。

【0060】本第1の実施の形態では、このようなq軸電流による磁束、すなわち、磁気抵抗の高い部分を中心軸として分布する電流によって生じる磁束を減少させるために補償用永久磁石4を配置しているものである。

【0061】この補償用永久磁石4は、図2に示すように、磁極10となる部分の鉄心表面を通過するq軸電流磁束21と逆方向の磁束23を発生する。補償用永久磁石4はほぼ周方向に磁化されているため、この補償用永久磁石4の磁束23が磁極10表面を通過するq軸電流の磁束21とは逆方向となり、q軸電流による磁束が相殺される。

【0062】これにより、q軸磁束は、コイルと鎖交する磁束量の総和で小さくするのではなく、エアギャップで生じるq軸磁束そのものを減少させることができる。

【0063】したがって、q軸中心近傍のq軸電流による磁束のみならず磁極鉄心表面に分布するq軸電流によ

る15に設けられている複数のスロット内の鉄心歯117に巻き付けられている電機子コイル113からなる。電機子コイル113は、分布巻、集中巻が適用されている。

【0050】本第1の実施の形態における回転電機の作用について説明する。

【0051】ここで回転子1において磁気抵抗が低い方向をd軸とし、磁気抵抗の高い方向をq軸とする。

【0052】すなわち、d軸は磁極10となる十字状の鉄心に沿った方向であり、磁性の鉄で磁路が構成されるため磁気抵抗が最も小さくなる。一方、q軸は空洞部6の中心軸方向であり、空洞部6がq軸磁束の障壁となるため最も磁気抵抗が高くなる。

【0053】電流は、d軸電流 $I_d$ とq軸電流 $I_q$ 成分に分けられ、それぞれd軸方向の磁束 $\psi_d$ とq軸方向の磁束 $\psi_q$ を形成する。

【0054】リラクタンストルク $T$ は次の(1)式で表される。

【0055】

$$T = k (L_d \cdot I_d + L_q \cdot I_q - L_d \cdot I_q - L_q \cdot I_d) \quad \dots (1)$$

電流による磁束 $\psi_q = L_q \cdot I_q$ と逆方向の磁束 $\psi_{pm}$ を発生させるので、次の(2)式となる。

【0056】

$$T = k \{ L_d \cdot I_d + L_q \cdot I_q - (L_d + L_q) I_d \} \quad \dots (2)$$

る磁束も減少でき、エアギャップにはq軸磁束はほぼ分布しなくなり、q軸磁束による鉄損を減少することができる。

【0064】そして、このようにq軸電流による磁束を減少させることができるために、出力が飽和すると言った問題や回転電機の力率を低下させるといった問題が解決され、この結果、高出力・高効率で広範囲の可変速運転が可能になる。また、鉄損が少くなり効率がよくなることから、従来と同じ出力の回転電機を構成する場合には、より小型化することが可能となる。

【0065】なお、本第1の実施の形態では、主永久磁石3についても、補償用永久磁石4と同様に、ほぼ周方向に磁化されているため、この主永久磁石3の磁束25によってもq軸電流による磁束21を相殺し、鉄損をさらに減少させる効果がある。

【0066】(第2の実施の形態) 本第2の実施の形態は、図1に示した第1の実施の形態と同様の構造にして、磁気抵抗の低い磁極10部分の鉄心の周方向幅 $\alpha$ を磁極ピッチ(隣り合う磁極間の距離 $\beta$ )の0.25~0.40倍とするものである。

【0067】これにより、d軸インダクタンス $L_d$ とq軸インダクタンス $L_q$ のインダクタンス比が大きくなり、高トルクが得られる。

【0068】(第3の実施の形態) 本第3の実施の形態は、図1に示した第1の実施の形態また、第2の実施の形態のように構成された回転電機を、最大トルク時と基

底速度以上の中・高速領域で、 $q$ 軸電機子電流による磁束と永久磁石による磁束が相殺されて零となる状態で動作させるものである。

【0069】回転電機のトルクTは、前述した(2)式とおりであるから、本実施の形態における回転電機では、最大トルク時と基底速度以上の中・高速回転時で、下記(3)式のとおり、 $q$ 軸電流による磁束を永久磁石の磁束で相殺して零となるようにする。

【0070】

$$\psi_q = L_q \cdot I_q - \psi_p m = 0 \quad \cdots (3)$$

これにより、 $q$ 軸磁束 $\psi_q$ は0となるので、負荷時の電圧は $d$ 軸電圧のみとなり、力率を向上できる。同時に、(2)式にとして示したトルク式からわかるように、 $q$ 軸磁束 $\psi_q$ は負のトルクを発生しており、空洞部に漏れる磁束である $\lambda_q$ の磁束を減少させることにより、 $\psi_q$ による負のトルクを減少させてトルクも増加する。

【0071】また同時に、固定子と回転子の鉄心のコアバックを通る全磁束は少なくなるので、鉄心コアバックの磁気飽和も緩和されて出力も向上する。

【0072】さらに、最大トルク時の $q$ 軸電流において、補償用永久磁石4の磁束と磁極10の表面を通過する $q$ 軸電流による磁束が相殺されて0となるように、補償用永久磁石4の磁束量を決定する。

【0073】これにより、中・高速回転領域では $q$ 軸電流は前記に述べたような相殺されて零となる $q$ 軸電流値とほぼ同じ値で運転されるようになる。

【0074】したがって、 $q$ 軸磁束は固定子鉄心内には僅かに分布するのみとなり、 $q$ 軸磁束による鉄損はほとんどなくなる。特に高速回転時は高周波により鉄損が大きくなるのでこの効果は大である。

【0075】(第4の実施の形態) 本第4の実施の形態は、図1に示した第1の実施の形態と同様の構造にして、補償用永久磁石4に、主永久磁石3より保磁力の高い永久磁石を用いるものである。

【0076】これは、補償用永久磁石4に高保磁力の永久磁石を適用することで、磁石を薄くできるため $d$ 軸電流による磁束が通る磁極10の磁路断面積を十分に確保でき、磁気抵抗の低下を僅かにできるからである。

【0077】このようにすることで補償用永久磁石4の挿入によるトルクの低下を抑えることができ、逆に永久磁石の磁束によりトルクが増加する。

【0078】なお、主永久磁石3は、磁束量が大きいことが要求されるので、保磁力よりも残留磁束密度の高い永久磁石を適用するとよい。これにより、トルクも増加することができる。

【0079】(第5の実施の形態) 図3は、本発明を適用した第5の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【0080】本第5の実施の形態においては、図3に示すように、回転子1に補償用永久磁石4の内周側端部か

ら回転子中心方向に向かって、すなわち、 $d$ 軸中心に沿ってスリット11を設けたものである。なお、その他の構成は前述した第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。

【0081】本第5の実施の形態における回転電機の作用について説明する。

【0082】回転子1に設けられたスリット11は、空気で満たされているため磁気障壁となって磁気抵抗が高くなる。したがって、スリット11は、回転子鉄心2の内部を横切る $q$ 軸電流による磁束を遮断するとともに補償用永久磁石4の漏れ磁束を低減させる。

【0083】これにより、さらに $d$ 軸と $q$ 軸のインダクタンス差が大となって、トルクが増加する。

【0084】同時に磁極10となる鉄心表面の $q$ 軸磁束を補償用永久磁石4で効果的に低減でき、鉄損をさらに低減することができる。

【0085】(第6の実施の形態) 図4は、本発明を適用した第6の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【0086】本第6の実施の形態においては、図4に示すように、回転子1の磁極10となっている部分の鉄心内、 $d$ 軸中心部分に電磁鋼板14を配置したものである。そして、この電磁鋼板14は回転子周方向と直交する方向に積層したものである。なお、その他の構成は、補償用永久磁石が無い以外前述した第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。

【0087】本第6の実施の形態における回転電機の作用について説明する。

【0088】電磁鋼板14は、回転子周方向と直交する方向に積層されているので、電磁鋼板内では周方向の磁気抵抗が大となる。

【0089】したがって、この電磁鋼板を横切って回転子周方向に分布する $q$ 軸電流の磁束を低減する効果がある。

【0090】これにより、 $d$ 軸と $q$ 軸のインダクタンス差が大となって、トルクが増加する。また、同時に磁極10となっている鉄心表面の $q$ 軸磁束も効果的に低減でき、鉄損を低減することができる。

【0091】(第7の実施の形態) 図5は、本発明を適用した第7の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【0092】本第6の実施の形態においては、図5に示すように、回転子1内の補償用永久磁石4の内周側、 $d$ 軸中心部分に電磁鋼板14を配置したものである。この電磁鋼板14は回転子周方向と直交する方向に積層している。なお、その他の構成は前述した第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。

【0093】本第6の実施の形態における回転電機の作用について説明する。

【0094】電磁鋼板14は、回転子周方向と直交する

方向に積層されているので、電磁鋼板14内では周方向の磁気抵抗が大となる。

【0095】したがって、この電磁鋼板14を横切って回転子周方向に分布するq軸電流の磁束を低減する効果がある。

【0096】これにより、d軸とq軸のインダクタンス差がさらに大となって、トルクが増加する。また、積層した電磁鋼板14は、補償用永久磁石4の漏れ磁束と磁極10となっている部分の鉄心表面におけるq軸磁束を効果的に低減でき、鉄損を低減することができる。

【0097】(第8の実施の形態)図6は、本発明を適用した第8の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【0098】本第8の実施の形態においては、図6に示すように、回転子1の磁極10となっている部分の鉄心内で、d軸中心部分に銅板15を配置したものである。

なお、その他の構成は、補償用永久磁石が無い以外前述した第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。

【0099】本第8の実施の形態における回転電機の作用について説明する。

【0100】d軸中心部分に銅板15を配置したことにより、磁極10部分の鉄心表面を横切るq軸電流の高調波磁束がこの銅板15に入ることになり、銅板15内で渦電流が発生する。そして、発生した渦電流によりq軸電流の高調波磁束が低減されることになり、これにより鉄損をさらに低減することができる。

【0101】なお、銅板の替わりに、たとえばアルミニウムを導電材として使用しても同様に鉄損を減少させることができある。このとき銅板であれば銅の棒を回転子鉄心に挿入することによって、電気抵抗がアルミニウムより小さいので断面積を小さくすることができ、アルミ板では、アルミニウムのダイキャスト(鋳造)で作ることによって、高熱で溶かしたアルミニウムを回転子鉄心に流し込んで製造するので量産性に優れるというそれぞの利点がある。

【0102】(第9の実施の形態)図7は、本発明を適用した第9の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【0103】本第9の実施の形態においては、図7に示すように、回転子1内の主永久磁石として、回転子の周方向の長さの異なる2種類の磁石3aおよび3bを配置したものである。なお、その他の構成は、補償用永久磁石が無い以外前述した第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。

【0104】この主永久磁石3aおよび3bは、磁極を挟んで配置しており、永久磁石の幅方向(図では回転子の径方向)の長さが異なるものである。図においては、回転子中心から見て左側の永久磁石3aを長く、右側の永久磁石3bを短くしている。

【0105】本第9の実施の形態における回転電機の作用について説明する。

【0106】磁極10を挟んで設けられた二つの永久磁石は、永久磁石の形状が同じであれば、磁極鉄心表面において二つの永久磁石の磁束が打ち消されて現れることはない。

【0107】これに対して、本第9の実施の形態のように、長さの異なる永久磁石を用いることで、永久磁石の面積を異なるようにしたため磁極鉄心表面上のエアギャップに永久磁石による磁束が生じる。この永久磁石の磁束は、主永久磁石3aおよび3bがq軸電流の磁束とは逆方向になるように磁化されているため、q軸電流の磁束を相殺することになる。

【0108】これにより、エアギャップ中のq軸磁束をほとんどなくすことができ、鉄損を低減することができる。

【0109】(第10の実施の形態)図8は、本発明を適用した第10の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【0110】本第10の実施の形態においては、図8に示すように、回転子1内における同極の永久磁石3で囲まれた部分の鉄心外周面の一部を窪ませて凹形状12を設けたものである。なお、その他の構成は前述した第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。

【0111】本第10の実施の形態における回転電機の作用について説明する。

【0112】同極の永久磁石3で囲まれた部分の鉄心外周面に凹形状12を設けることで、磁気抵抗の高い部分を凹形状12のみで構成することになるので、回転子鉄心2内部に空洞部設けた場合(図1参照)と比較して、回転子鉄心2の外周に外周ブリッジがないことからさらに磁気抵抗を高くすることができる。

【0113】したがって、d軸とq軸のインダクタンスの差がより大きくなり、トルクが増加する。特に、この構成により回転子表面に沿って漏れるq軸磁束を減少できるので、d軸とq軸のインダクタンスの差を拡大することができる。

【0114】これにより、q軸磁束の絶対値が小さくなり電圧降下分も減少するので、力率の向上と電圧源の電源で駆動しているときの最高回転数を伸ばすことが可能となる。したがって、回転電機としての可变速範囲をさらに拡大することができる。

【0115】(第11の実施の形態)図9は、本発明を適用した第11の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【0116】本第11の実施の形態においては、図9に示すように、回転子1内の空洞や表面の窪みなどを設けていないものである。なお、その他の構成は前述した第1の実施の形態と同様であるので説明を省略する。

【0117】この場合、回転子1の周方向位置による周

期的な磁気抵抗の凹凸は、主永久磁石3によって形成される。すなわち、図9に示されるように、主永久磁石3により挟まれている部分16では、主永久磁石3そのものによって磁路が閉塞しているために、この部分16で磁気抵抗が高くなり、一方、磁路が形成されて磁極10となっている部分では、磁気抵抗が低くなるのである。これにより、空洞や凹形状を設けることなく、回転子1に周期的に磁気抵抗の高い部分と低い部分が形成されている。

【0118】本第11の実施の形態における回転電機の作用について説明する。

【0119】このように、回転子1に空洞や凹形状を設けないことで、永久磁石3の磁束が増加し、永久磁石の磁束と電流の相互作用によりトルクを大きくすることができる。

【0120】以上本発明を適用した実施の形態を説明したが、本発明は、これらの実施の形態に限定されるものでなく、たとえば、各実施の形態のそれぞれ特徴をなす構成を適宜組み合わせることも可能であり、それらの構成も本発明の技術思想に含まれるものである。

【0121】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、回転子の周方向位置により、磁束によるインダクタンスの差が大きくすることができ、高トルク、高出力の回転電機を得ることができる。

【0122】また、本発明によれば、回転子の磁極表面を通るq軸磁束も低減するため鉄損が減少し、中・高速回転領域で効率が向上する。したがって、本発明の回転電機は、高出力で低速から高速までの広範囲で効率の良い運転が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用した1の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【図2】本発明を適用した1の実施の形態である永久磁石式リラクタンス型回転電機の磁束の流れを示す図面である。

【図3】本発明を適用した5の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【図4】本発明を適用した6実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【図5】本発明を適用した7の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【図6】本発明を適用した8の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【図7】本発明を適用した9の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【図8】本発明を適用した10の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

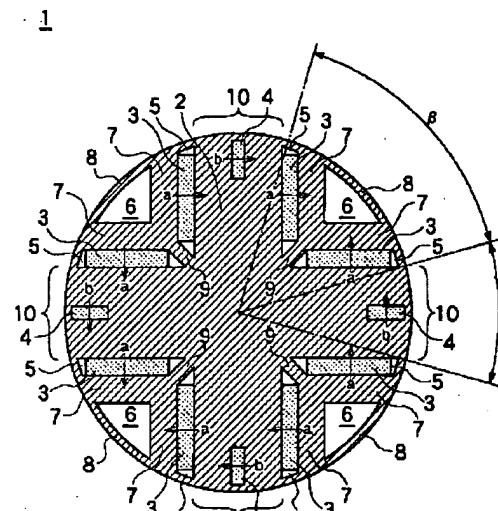
【図9】本発明を適用した11の実施の形態における永久磁石式リラクタンス型回転電機の回転子の径方向断面図である。

【図10】従来のリラクタンス型回転電機の径方向断面図である。

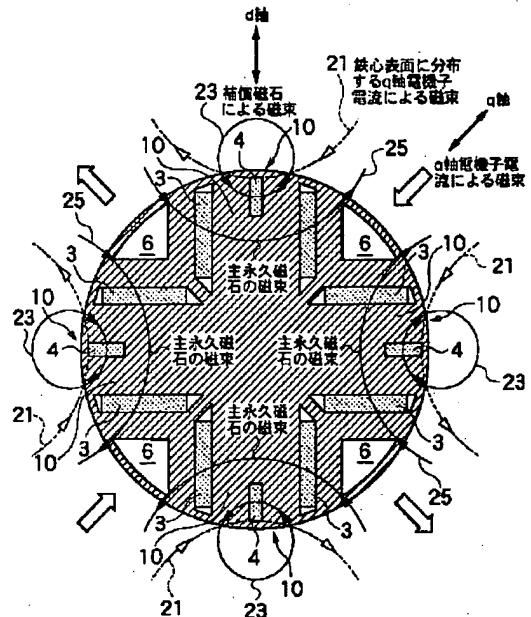
#### 【符号の説明】

- 1 回転子
- 2 回転子鉄心
- 3 a, 3 b 主永久磁石
- 4 補償用永久磁石
- 5 主磁石挿入用空洞
- 6 空洞部
- 7 磁路ブリッジ
- 8 外周ブリッジ
- 9 内周ブリッジ
- 10 磁極
- 11 スリット
- 12 凹形状
- 14 電磁鋼板
- 15 鋼板
- 16 主永久磁石により挟まれている部分
- 21 q軸電流による磁束
- 23 補償用永久磁石による磁束
- 25 主永久磁石による磁束

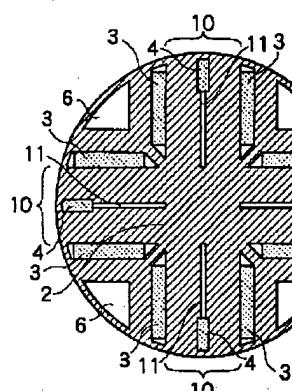
【図1】



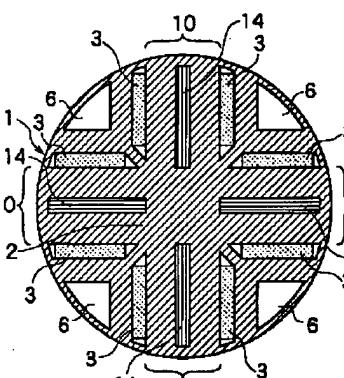
【図2】



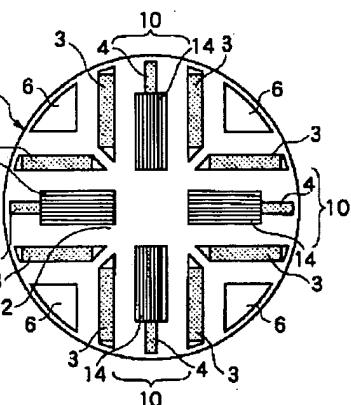
【図3】



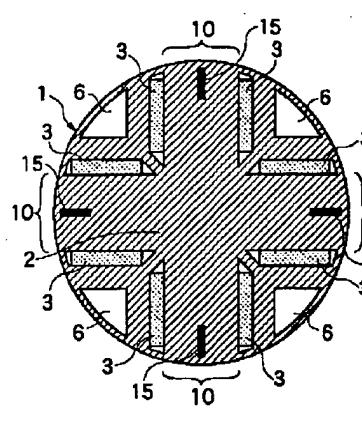
【図4】



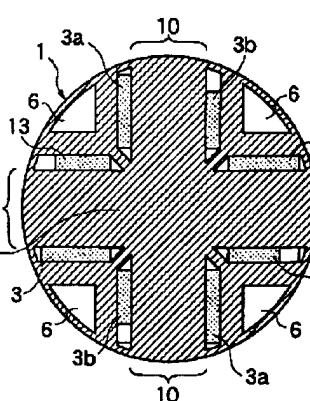
【図5】



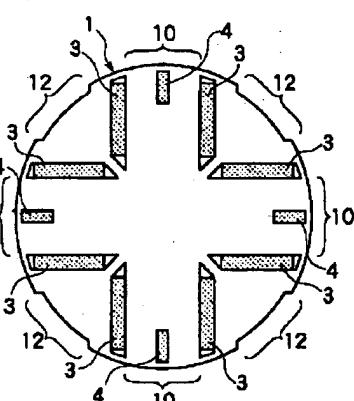
【図6】



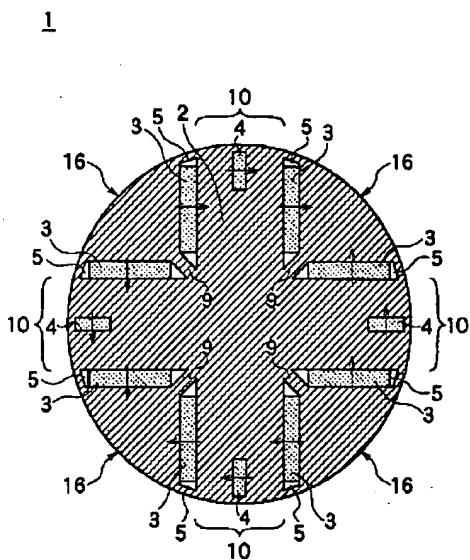
【図7】



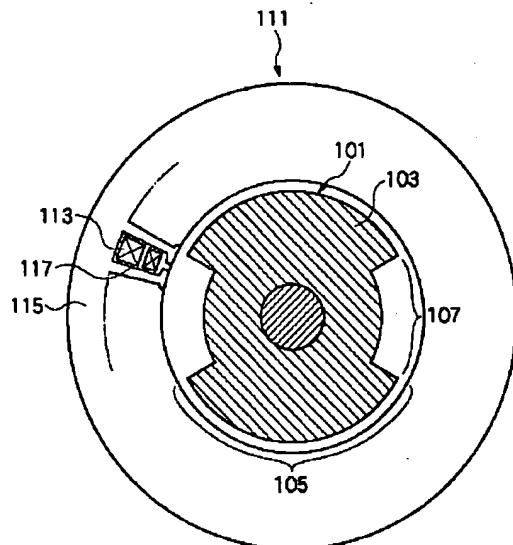
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 02 K 21/14

識別記号

F I  
H 02 K 21/14

テ-マコ-ト(参考)  
M

(72) 発明者 德増 正  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内  
(72) 発明者 高橋 則雄  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内

F ターム(参考) 5H002 AA03 AB08 AE08  
5H619 AA01 BB01 BB06 BB24 PP02  
PP06 PP08  
5H621 AA03 BB07 GA11 HH01  
5H622 AA03 CA02 CA05 CA09 CA10  
CA11 CB02 CB03 CB04